

**Análisis comparativo de dos sistemas de secado en hojas de Chachafruto
(*Erythrina edulis*)**

**Comparative analysis of two drying systems in leaves of Chachafruto
(*Erythrina edulis*)**

Angela M. Prieto¹, Est MVZ; Ana M. Colonia², Zoot, Esp, Bro.

¹ *Programa de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Facultad de Ciencias de la Salud.
Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia*

² *Programa de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Facultad de Ciencias de la Salud.
Asesor de trabajo de grado. Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia*

Resumen

En la ganadería el rubro de mayor valor lo representa la alimentación de los animales y esto se debe a los costos de producción que se ven reflejados en gran medida por la importación de materias primas para la elaboración de concentrados, por esta razón es importante buscar otras alternativas que reemplacen las costosas materias primas y aseguren un valor nutritivo en la dieta suministrada a bovinos. El objetivo de este trabajo fue comparar dos sistemas de secado para hojas de Chachafruto (*Erythrina edulis*) para la elaboración de harina y suplementación en la alimentación de bovinos. Para ello, se utilizaron dos sistemas de secado, un horno de convección forzada usando el método STAP (Secado con Temperatura Alta Programada) y una marquesina que utiliza luz solar para realizar el secado de las hojas, posteriormente se determinó el contenido de materia seca, grasa, ceniza, fibra cruda y proteína en las muestras mediante un análisis bromatológico.

Palabras clave: alimentación, deshidratación, *Erythrina*, industrialización, materia seca.

Abstract

In cattle, the highest value item is represented by the feeding of animals and this is due to the production costs that are reflected to a large extent by the importation of raw materials for the production of concentrates, for this reason it is important to look for other alternatives that replace the expensive raw materials and ensure a nutritional value in the diet supplied to cattle. The objective of this work was to compare two drying systems for leaves of Chachafruto (*Erythrina edulis*) for the elaboration of flour and supplementation in the feeding of bovines. For this, two drying systems were used, a forced convection oven using the STAP method (Drying with High Programmed Temperature) and a canopy that uses sunlight to dry the leaves, later the dry matter content was determined, fat, ash, crude fiber and protein in the samples through a bromatological analysis.

Introducción

En la ganadería colombiana uno de los costos más altos corresponde a la alimentación de los bovinos, en donde por lo general, se alimentan con forraje verde, lo que genera a largo plazo un rubro significativo de los costos de producción representado por la renovación y mantenimiento de praderas con las que se alimenta a los animales y que no aportan la suficiente proteína, por lo que se alarga el ciclo de producción, además de esto, cabe destacar que en Colombia generalmente los productores pequeños, no utilizan concentrado en la alimentación diaria de los animales por los altos costos debidos a la fabricación del alimento a base de materias primas importadas como maíz, soya y sorgo, lo que eleva significativamente su precio; No suministrar concentrado a comparación de países potencia en producción animal como Estados Unidos, es una desventaja en cuanto a conversión alimenticia no porque el uso de concentrado sea estricto, sino, porque los ciclos de producción son más largos y con una eficiencia menor en conversión alimenticia, en este sentido la estimación de los costos es fundamental, pues son relevantes para determinar la productividad que se está teniendo en el hato.

Es por esto que en los últimos años se han buscado alternativas de suplementación en la alimentación animal, teniendo como principal fuente la sal mineralizada que se usa frecuentemente, sin tener en cuenta el estado nutricional y las necesidades del

bovino, también se usan otras fuentes de suplementación como los bloques nutricionales y bancos de proteína, los cuales han tenido resultados positivos en la suplementación alimentaria del ganado, pero que se han desarrollado para hacer uso de subproductos o espacios en los hatos y no como una forma principal de suplementación en la alimentación, lo anterior sumado a que los costos de alimentación en los sistemas de producción devengan en promedio del 70% al 80% de los gastos, deja ver la necesidad de una alternativa de bajo costo pero que asegure el valor nutricional requerido.

La ganadería bovina es uno de los principales renglones del P.I.B. en Colombia después del café y las flores, aunque comparando sus índices de productividad con otros países, vemos que está por debajo del promedio de producción mundial, y esto se debe a que los pequeños ganaderos que son la mayoría en este gremio, no cuentan con los recursos necesarios para tecnificar sus empresas y así ser más eficientes, es así como surge la necesidad de encontrar otras fuentes de alimentación para el animal que sean más accesibles y con buenos valores nutricionales.

En busca de nuevas alternativas de producción se han utilizado los bancos de proteína y bancos nutricionales que son opciones viables, sin embargo, los estudios sobre estas alternativas no muestran estadísticas sobre su uso y efecto en la alimentación de los animales. El Chachafruto como parte de las especies vegetales recomendadas como complemento en la alimentación animal ha sido reconocida principalmente por el uso de sus frutos debido a la composición nutricional de estos, utilizando la harina de sus granos como ingrediente de otras harinas para así desarrollar productos con mayor valor nutricional, además de esto, se han desarrollado harinas de productos como caña (*Saccharum officinarum*) pero no hay la suficiente investigación para determinar su efecto en la producción animal.

Se propone el uso de plantas no convencionales tropicales que puedan ofrecer contenidos altos de proteína y fibra, para lo cual se producirá una harina de Chachafruto (*Erythrina edulis*) para alimentación en ganado bovino, donde se comparará dos métodos de secado de hojas, para determinar cuál de los dos métodos es más eficiente en cuanto a la conservación de las propiedades nutricionales de la hoja de Chachafruto, para posteriormente fabricar la harina. Determinar el método de

secado de hojas de *Erythrina edulis* que asegure la composición nutricional para elaborar una harina para la suplementación alimentaria en bovinos.

Origen

Erythrina edulis es una de las 117 especies documentadas en el mundo y en Colombia es una de las 13 especies actualmente reportadas. Ésta especie es originaria de la región andina y se ubica a lo largo de la cordillera de los Andes; se puede encontrar a través de la cordillera de los Andes distribuido en los bosques subandinos, zonas de bosques subtropicales húmedos de México, a través de Panamá, Venezuela, Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú (1). La especie *E. edulis* es una leguminosa fabácea, el nombre del género *Erythrina* proviene del griego ερυθρός (erythros) que significa rojo en alusión al color de sus flores, y el epíteto *edulis* del vocablo latino *edulis* que significa comestible en referencia a su fruto. Es conocida en Colombia como chachafruto, balú, baluy, nupo, poruto, frijol balú, sacafruto y sachaporuto (2). Algunas de las principales características de *E. edulis* se pueden resumir en la Tabla 1 (3). *E. edulis* es un árbol que crece a libre exposición y acepta la sombra en los primeros estadios de su desarrollo. En Colombia se observa con vegetación natural en las estribaciones de la cordillera de los Andes, en la zona cafetera o selva subandina, la clasificación taxonómica se puede observar en la Tabla 2 (4).

Tabla 2. Clasificación taxonómica

Reino	Vegetal
Subreino	Embriophyta
División	Magnoliophyta
Subdivisión	Angiosperma
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Rosidae
Orden	Fabales
Subfamilia	Faboideae (Papilionoideae)
Género	<i>Erythrina</i>

Especie	<i>Erythrina edulis</i> , Triana, ex M Micheli
---------	---

Fuente: (4).

Uso

El Chachafruto es un árbol multipropósito, ideal para los programas agroalimentarios, manejo de suelos y cuencas hidrográficas y para el aumento estable de la agroforestería y el agropastoreo (5). El árbol de chachafruto ha sido utilizado por los habitantes latinoamericanos de zonas tropicales y subtropicales de los Andes como fuente de alimento y subproductos para la alimentación animal. En la actualidad representa una fuente importante de alimento para los seres humanos y animales de ciertas regiones rurales del continente americano por el alto valor nutritivo de sus hojas, vainas y semillas (2). El chachafruto se utiliza en la alimentación humana como ingrediente de panadería, en la agroindustria se usa para la transformación de diferentes tipos de harinas como alimento concentrado en la alimentación de animales como peces y alimento forrajero para caballos, cabras, conejos y cerdos. Estos usos se dan gracias a su valor nutricional que incluso es comparado con algunas leguminosas como el frijol, arveja, lentejas, garbanzos y las habas (6).

Botánica

Son muy escasos los estudios ecológicos, agrícolas y medicinales que se han difundido a través de la literatura científica, sin embargo, según el estudio botánico del Chachafruto (1) es un árbol que puede alcanzar 10 metros de altura, armados con aguijones pequeños y ramas pronunciadas; presenta hojas coriáceas, envés de la hoja glabra, pinnadas con la vena principal o raquis pulverulento; los folíolos son enteros generalmente con estipulas de formas ovales, elípticas, acuminadas en ápice, comúnmente miden de 10 a 20 cm de largo y de 5 a 15 cm de ancho, con pedicelo de 3 a 8 mm de largo; las flores son algo pulverulentas, típicamente papilionáceas, con pedúnculo floral que mide aproximadamente de 3 a 18 mm de largo, el cáliz es bilabiado, delgado, de aproximadamente 1cm de largo y de 8 a 10 mm de ancho, las flores presentan un estandarte ancho y elíptico de 2 a 3 cm de largo con alas muy

pequeñas, miden de 3 a 6 mm de largo y se encuentran ocultas en el cáliz; la quilla es frecuentemente lobado; el color de flores de todas las especies (menos una de la cual son verdes) son rojas o anaranjadas; su fruto es una legumbre coriácea, ancha, oblonga lineal moderadamente comprimida entre la inmensa semilla tierna, irregularmente dehiscente, de 15 a 25 cm de longitud, por lo general contiene seis semillas en cada vaina, con estrías entre las semillas; las semillas son grandes de color marrón oscuro y tegumento arrugado cuando seca, miden de 3-5 cm de largo. La floración se da de acuerdo a la variabilidad de la zona en donde se encuentra, observaciones preliminares han permitido definir hasta dos períodos de floración por año. Desde el inicio de la floración, inflorescencia, hasta la madurez fisiológica del fruto, transcurren aproximadamente de 5 a 6 meses (7).

Propagación

Los campesinos andinos poseen diversas técnicas agrícolas que emplean desde sus ancestros para la propagación del Chachafruto, la técnica más utilizada es la siembra por semilla, la cual debe ser superficial quedando la semilla casi a la vista y la plantación debe hacerse al inicio de la temporada lluviosa si el terreno carece de riego (8). La semilla debe ser seleccionada (de buen tamaño, sana y colectada directamente del árbol) y sembrada en la misma semana de su recolección, se recomienda la siembra en bolsa de polietileno, la posición de la siembra debe ser con el dorso hacia arriba y la parte cóncava hacia abajo, la germinación inicia a los 11 días desde su siembra, el porcentaje de germinación es del 85%. Otra forma de propagación es por estaca, se recomienda su extracción con base en las ramas de la parte media de la copa, se deben cortar estacas de 1-1.20 metros de altura y de 3-5 centímetros de grosor, el corte de la estaca en la base y en la punta debe ser oblicuo. La siembra debe hacerse a una profundidad de 20 centímetros (9).

Producción

En Colombia, la producción de *E. edulis* se estima en 36 toneladas de semillas por hectárea, para árboles de 6 años sembrados con una densidad de 400 árboles por hectárea. Este árbol es muy usado como acompañante para el cultivo del café. En Colombia se usa en bancos de proteínas para alimentación animal, donde tiene una producción de 80 toneladas de forraje (23% de proteína) por hectárea (10). Otros

autores reportan una producción de 30 a 40 toneladas de semillas por hectáreas al año, una producción por árbol de 2,6 a 6 kg, una densidad de 5.000 a 10.000 árboles por hectárea y una capacidad de 3 cortes al año (11). En ensayos realizados en Boyacá y Cundinamarca, la producción de forraje para árboles de 4 años, fue de 1.204 ton/ha/año equivalente a un contenido de proteína de 238 Kg/ha/año y en bancos proteicos a la edad de 1 año, la producción total de follaje fue de 1.673 ton/ha/año para los 2 sitios de ensayos (4).

Composición nutricional

La composición química de los forrajes utilizados en el trópico se ve afectada por las condiciones ambientales, el tipo de suelo en donde se establecen, la calidad nutritiva, los altos contenidos de la pared celular y los bajos carbohidratos solubles. Según estudios realizados las especies forrajeras que tienen potencial para implementarse en la suplementación animal en el trópico, deben contener niveles de proteína entre 15-30% (12). En la tabla 3 se puede observar que el contenido de proteína cruda es de 23,25%. Los valores obtenidos son similares a los reportados por otros autores para *L. Leucocephala* (13).

Tabla 3. Análisis químico de la hoja de *E. edulis*

Descripción	Proteína %	N%	P%	K%	Ca%	Mg%
Hoja	23,25	3,72	1,33	1,52	3,25	0,23

Fuente: (13).

En la tabla 4. se muestran los resultados del análisis bromatológico de una muestra foliar de *E. edulis* en donde el contenido de materia seca (MS) presenta un valor elevado de 90,29% al ser deshidratada dos veces, comparado con lo reportado para hojas de *Erythrina poeppigiana* con 23,27%. El contenido de extracto etéreo indica la fracción que identifica las grasas, este valor es bajo por tratarse de la hoja y no de la semilla donde son almacenados la mayor cantidad de los lípidos en las leguminosas (13).

Tabla 4. Análisis foliar de *E. edulis*.

Determinación	Hoja
---------------	------

Materia seca %	90,29
Proteína cruda %	24,23
Extracto etéreo %	2,54
Cenizas %	13,07
Carbohidratos no fibra %	23,28
Fibra ácido detergente%	39,54
Fibra neutro detergente %	47,58

Fuente: (13).

La cantidad de biomasa producida por los arboles forrajeros en un cultivo, siempre va a depender de la densidad de plantación, frecuencia de corte y la altura a la que se regula el corte, además, se deben estimar otros aspectos como el clima, los problemas fitosanitarios y el lugar donde se ha establecido el cultivo, de todos los anteriores va a depender una buena producción de biomasa por parte de las especies arbóreas forrajeras (14).

Cosecha

Por lo general el follaje verde de las especies arbóreas se cosechan de forma manual lo que impide la expresión de su máxima productividad, además de esto, al hacer la recolección, no solo se está extrayendo el material comestible sino también la parte leñosa, la cual aporta poco a la nutrición animal y dificulta su posterior procesamiento; mejorar la productividad va a depender de la especie arbórea que se utilice, por lo que se pueden extraer el follaje cuando aún está verde o después de haber sido deshidratado, también hay que tener en cuenta que a diferencia de los forrajes de gramíneas, la capacidad de rebrote de los arboles es limitada, lo que exige periodos de recolección más espaciados (15).

Proceso de secado

La deshidratación del forraje puede ser llevada a cabo directamente al sol o con el empleo de secados artificiales. La deshidratación solar del follaje es una forma natural de procesar la biomasa producida por los árboles, tiene como ventaja su bajo costo por no necesitar de estructuras muy elaboradas y el aprovechamiento de la radiación

solar, sin embargo, tiene la desventaja de estar sujeto a variables ambientales como el clima y la temperatura ambiental. La deshidratación artificial consta de secadores que utilizan energía externa para mantener una temperatura constante, aunque tiene un elevado costo garantiza el procesamiento de grandes volúmenes de follaje bajo unos rangos térmicos constantes sin tener que lidiar con variables ambientales (15). El secado es un proceso en el que el agua se elimina para detener o aminorar el crecimiento de microorganismos perjudiciales, así como de ciertas reacciones químicas. La eliminación de agua de los alimentos se consigue mayoritariamente utilizando aire caliente (excepto para algunas operaciones tales como liofilización y deshidratación osmótica) que elimina el agua de la superficie del producto y la lleva hacia fuera. El proceso de secado de alimentos no sólo afecta al contenido en agua del alimento, sino también a otras de sus características físicas y químicas (16).

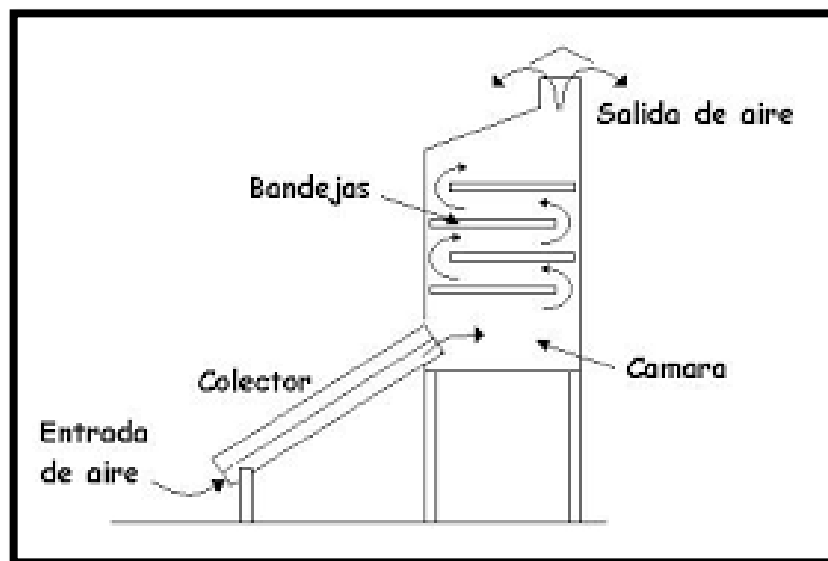
Secado solar

La deshidratación solar es considerada como un antiguo método de conservación de alimentos, representa una larga tradición del procesamiento de alimentos que se puede hacer naturalmente mediante la luz solar directa, sin embargo, el secado solar es imposible lograr en cualquier lugar o momento (17). En el secadero solar los rayos del sol son transformados en calor a través del efecto invernadero en un colector solar que se compone generalmente de una cobertura transparente (vidrio o plástico) que deja pasar la radiación luminosa y evita el escape del aire caliente, la cámara formada al interior permite la circulación del aire caliente teniendo como finalidad el secado del producto expuesto (18). Entre los tipos de secado solar podemos encontrar:

- **Secador solar indirecto:** está compuesto por un colector que es un habitáculo donde la radiación solar calienta su interior y una cámara de secado en donde circula el aire, en este caso los dos elementos están separados (Figura 1). La radiación solar calienta el aire del colector que pasa a la cámara de secado donde está el producto, esto quiere decir que en la cámara de secado no incide la radiación solar, por esa razón es conveniente para productos que son sensibles a la radiación solar directa (19). Una de las ventajas de este tipo de secador es la facilidad de integrar una fuente auxiliar de energía para construir un sistema híbrido, además, al tener una cámara de secado separada de los

colectores, facilita la manipulación de los productos y las labores de carga y descarga; entre las desventajas está el hecho de que al separar la función de colección de energía solar de la de secado, el tamaño del equipo y sus costos crecen, otra desventaja es que, al evaporar la misma cantidad de agua se necesita mover mayor cantidad de aire a mayor temperatura diferente al caso de otros secadores solares.

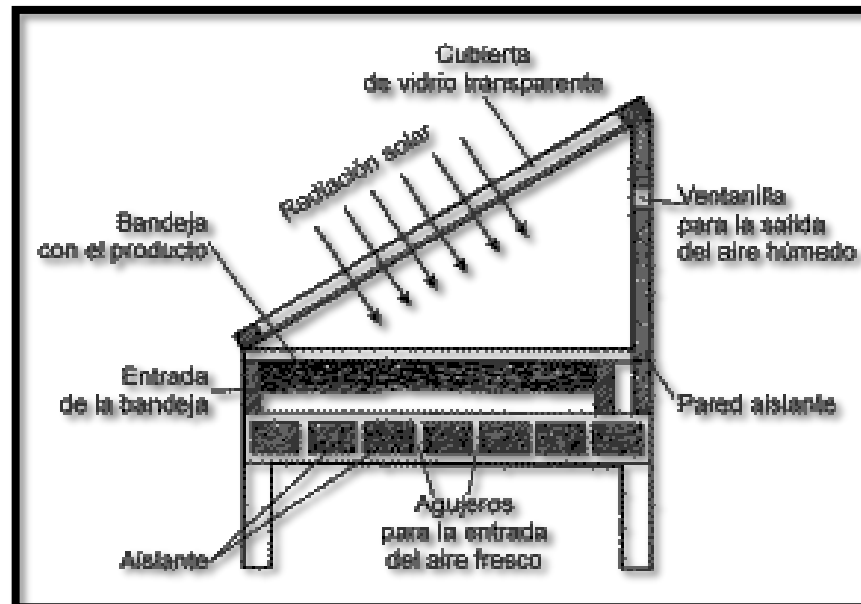
Figura 1. Esquema de secador solar indirecto



Fuente: (19).

- **Secador solar directo:** en este caso los dos elementos, el colector y la cámara de secado son el mismo (Figura 2), de esta manera, la radiación solar incide directamente sobre el producto a secar, resultando más efectiva la evaporación del agua, la cual es recuperada por el aire procedente del exterior (19). La aceleración del secado se debe a que la presión de vapor en la superficie del producto crece por la absorción de radiación solar por lo que el gradiente de presiones de vapor entre el producto y el aire se hace mayor. Este tipo de secadores generalmente cuentan con circulación de aire por convección natural. Es frecuente ver incrementos de temperatura excesivos, lo que conlleva al pardeamiento enzimático, además, para algunos productos la acción de la radiación solar directa puede destruir o evaporar algún compuesto orgánico de interés comercial (20).

Figura 2. Esquema de secador solar directo



Fuente: (19).

Aunque con el tiempo se han desarrollado muchos tipos de secadores solares directos, los más conocidos son tres:

- **Marquesinas, parabólicos u invernaderos:** existen diferentes diseños de secadores solares que permiten una adecuada capacidad de carga de secado y diferentes niveles de temperatura y circulación de aire y contruidos en policarbonato, polietileno y PVC Flexible (Figura 3). Algunos diseños se apoyan en otras fuentes de energía para forzar la circulación del aire, como es el caso del diseño de circulación forzada. Generalmente están contruidos en metal, madera, guadua y no tienen paredes o están hechas de mampostería (21).

Figura 3. Secador solar tipo invernadero



Fuente: (19).

Secado artificial

Se realiza en secadores de conducción de aire caliente forzado o invernaderos a baja humedad relativa; el secado artificial se usa con mayor frecuencia en países con climas húmedos y lluviosos. Si el secado no se realiza adecuadamente, podría comprometer el contenido de principios activos y también podría influir en el color y olor, como en la calidad final del producto (22). El método artificial más utilizado es el horno (Figura 4) y entre sus ventajas esta que todos los parámetros que gobiernan el proceso de deshidratación se pueden controlar y monitorear, de esta forma se logran resultados de calidad más homogénea y de mejor aptitud bromatológica, por otra parte, los tiempos se acortan notablemente, pues se consigue el mismo efecto del secado al aire (semanas) en 24 a 48 horas, con la ventaja de menores tiempos de

exposición a las radiaciones solares lo que disminuye el deterioro del material vegetal, además, se necesita poco terreno para su instalación y por las condiciones de trabajo se eliminan los inconvenientes con las contingencias climáticas; sus principales desventajas son, el costo y la necesidad de consumo de energía eléctrica o fósil (23).

Figura 4. Horno de convección forzada



Fuente: (24).

Materiales y métodos

Lugar de investigación

Laboratorio del Tecnoparque Nodo Pereira, SENA Regional Risaralda.

Método de investigación

El método utilizado en la investigación fue deductivo, donde se hizo una revisión bibliográfica sobre el chachafruto (*E. edulis*), para luego analizar las variables de estudio en el secado de las hojas de chachafruto, por lo tanto, la investigación se

desarrolló de lo general a lo específico.

Diseño de la investigación

El tipo de estudio es exploratorio porque es una investigación con pocos antecedentes lo que genera un problema que no tiene solución. Descriptivo porque permite detallar el objeto de investigación con base a la revisión bibliográfica y explicativo, ya que gracias a la información recolectada permite entender el comportamiento de las variables.

Variables de estudio

- **Variables independientes**
 - Temperatura del secador solar y del horno secador
 - Humedad del secador solar
 - Humedad de las hojas
 - Temperatura de las hojas
 - Tiempo de secado de las hojas
 - Tamaño de las hojas
 - Forma de las hojas
 - Coloración de las hojas
 - Textura de las hojas
- **Variable dependiente**
 - Calidad de la hoja

Equipos

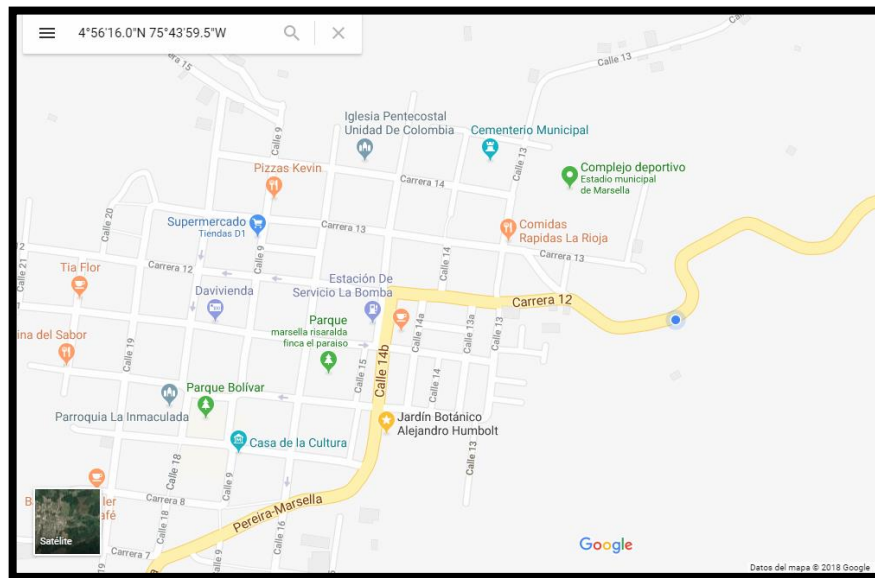
- Horno secador
- Desecador al vacío
- Tijeras
- Papel aluminio
- Balanza de precisión
- Secador solar tipo marquesina

- Termohigrómetro digital

Material vegetal

El material vegetal fue extraído de árboles de Chachafruto (*E. edulis*) escogidos aleatoriamente de un modelo de sombrío para café en la vereda Valencia Baja del municipio de Marsella, Risaralda, Colombia, ubicada en la altitud 4°56'16.0"N y la longitud 75°43'59.5"W (Figura 5). Entre las variables consideradas para la escogencia de los arboles estuvieron: estado de desarrollo fisiológico de los árboles, estado de las hojas, altura del árbol.

Figura 5. Ubicación de la vereda Valencia Baja, Marsella, Risaralda.



Fuente: (25).

• Recolección

Las hojas de *E. edulis* se recolectaron de árboles pertenecientes a un modelo de sombrío para café (Figura 6), las variables que se consideraron para su escogencia fueron, estado de desarrollo fisiológico, estado de las hojas y altura del árbol. El material vegetal fue transportado desde el lugar de recolección hasta el laboratorio en una prensa para hojas.

Figura 6. A y B. Recoleccion de material vegetal de *E. edulis*



.Fuente: Autor.

- **Horno de convección forzada**

Horno de convección forzada marca Daihan Scientific (26), cuenta con un rango de temperatura de +5°C temperatura ambiente hasta 250°C, fluctuación $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ a 100°C y $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ a 150°C, posee un control digital de doble display y circulación de convección de aire forzado (Figura 7).

Figura 7. Horno secador



Fuente: Autor.

- **Secador solar tipo marquesina**

Se fabricó en escala de 1:20 una marquesina en madera, con dimensiones 47 cm de largo y 32 cm de ancho y 30 cm de alto, piso en madera de color oscuro, cubierta de polietileno calibre 7 con filtro UV (Figura 8). La circulación de aire trascurre por una puerta delantera y una puerta trasera para asegurar la entrada de aire fresco y la salida de aire húmedo.

Figura 8. Secador solar tipo marquesina escala 1:20



Fuente: Autor.

- **Proceso de secado**

- **Horno:**

Se realizó el picaje de las hojas en cuadros de 1 cm aproximadamente (Figura 9), se procedió a pesar (masa) tres muestras de 2 gramos aproximadamente y a continuación se ingresaron las muestras contenidas en papel aluminio al horno, a una temperatura de 105 grados Celsius durante 24 horas, al terminar el secado en el horno, se procedió a sacar las muestras e introducirlas en un desecador al vacío por 30 minutos, luego las muestras se pesaron nuevamente para calcular la materia seca.

Figura 9. Corte de las hojas de *E. edulis* e ingreso de muestras al horno.



Fuente: Autor.

Para realizar el secado de las hojas de Chachafruto, es utilizado el Secado con Temperatura Alta Programada (STAP), con cinco niveles de temperatura inicial del aire de secado (40, 50, 60, 70 y 80 °C) y cinco niveles de duración del intervalo de temperatura alta (5,10, 15, 20 y 25 minutos) realizado en horno y manteniendo la temperatura inicial de cada sesión de secado (Tabla 5), el peso de las muestras fue de 2 gramos, se dejaron en el desecador al vacío por 30 minutos y se volvieron a pesar para calcular la materia seca.

Tabla 5. Metodología de STAP

STAP	T° inicial (°C)	T° final (°C)	Tiempo de secado (minutos)
1	40	40	5,10,15,20,25
2	50	50	5,10,15,20,25
3	60	60	5,10,15,20,25
4	70	70	5,10,15,20,25
5	80	80	5,10,15,20,25

Fuente: Autor.

○ **Marquesina**

El material vegetal se seleccionó de un peso (masa) de 60, 40 y 20 gramos aproximadamente, se ingresa a la marquesina la hoja entera para evitar pérdidas de la muestra (Figura 10). Se mide temperatura y humedad relativa interior de marquesina con termohigrómetro cada 3 horas y se hacen dos volteos de la muestra al día.

La marquesina es expuesta a 6 horas de sol al día por tres días. Al finalizar el proceso de secado, las muestras no se ingresan al desecador al vacío porque la marquesina cuenta con una entrada de aire fresco y una salida de aire húmedo, se prosigue a pesar para calcular la materia seca.

Figura 10. Muestras de *E. edulis* contenidas en marquesina



Fuente: Autor.

- **Determinación de Materia Seca Analítica (MS):**

Cada una de las muestras fue pesada antes y después del secado para determinar el contenido de Materia Seca (MS), expresado en porcentaje, de acuerdo a la siguiente formula:

$$\text{Materia Seca (\%)} = 100 - \text{Humedad (\%)}$$

- **Determinación de Humedad (H):** para hallar el porcentaje de humedad se resta del 100% el porcentaje total de Materia Seca en cada muestra, según la siguiente formula:

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso húmedo}} \times 100$$

- **Caracterización de la composición nutricional**

La composición nutricional se evaluó con un equipo FOSS NIRS DA1650 (Figura 11), que, mediante la espectroscopia de infrarrojo cercano, permite conocer los valores de proteína, humedad, grasa, cenizas, fibra cruda y almidón (27). La caracterización nutricional se realizó en 3 muestras con un peso aproximado de 2 gramos cada uno, las muestras se sometieron a un secado

en horno de convección forzada a una temperatura de 105 °C por un periodo de 24 horas. El equipo utilizó un modelo de predicción desarrollado por FOSS “60081279 Vegetal Protein Meals”.

Figura 11. Equipo FOSS NIRS DA1650



Fuente:(27).

Resultados y discusión

- **Determinación de Humedad Relativa (HR) y Materia Seca (MS) secado en horno**

Para determinar la humedad relativa y el contenido de materia seca de la hoja fresca se realiza la media de tres repeticiones, usando el método gravimétrico descrito en materiales y métodos.

Tabla 6. Porcentaje inicial de humedad y materia seca

Muestra	Peso inicial (g)	Peso Final (g)	HR (%)	MS (%)
1	2,041	0,544	73,35	26,65
2	2,096	0,56	73,28	26,72
3	2,019	0,505	74,99	25,01
Media			73,87	26,13

. Fuente: Autor.

- **Tiempo de secado en horno**

En la tabla 7 se pueden observar los resultados para las muestras a diferentes tiempos (5,10, 15, 20 y 25 minutos) de secado y a diferentes temperaturas de secado (40,50, 60, 70 y 80 °C), como era de esperar, a mayor temperatura y tiempo de secado disminuye el porcentaje de materia seca, tal y como se observa en las gráficas, es decir, en la gráfica 1 se puede observar el mayor porcentaje de materia seca (84.95 %) a una temperatura de 50 °C durante 5 minutos. En la gráfica 2 se puede observar el mayor porcentaje de materia seca (81.46 %) a una temperatura de 40 °C durante 10 minutos. En la gráfica 3 se puede observar el mayor porcentaje de materia seca (82.32 %) a una temperatura de 40 °C durante 15 minutos. En la gráfica 4 se puede observar el mayor porcentaje de materia seca (82.34 %) a una temperatura de 40 °C durante 20 minutos, finalmente en la gráfica 5 se observa el mayor porcentaje de materia seca (78.89 %) a una temperatura de 40 °C durante 25 minutos, esto coincide con expuesto por (22), quien muestra que a medida que el tiempo de secado y la temperatura aumentan, se presentan menor rendimiento de MS y de los compuestos que la integran, en contraste con los mejores resultados de MS que se encuentran a una temperatura moderada por corto tiempo como es el caso de la Grafica 1, donde se muestra que el mayor porcentaje de MS se da una temperatura de 50 °C durante 5 minutos.

- **Caracterización de la composición nutricional**

Se analizaron bromatológicamente 3 muestras usando un equipo NIRS, el análisis arrojó los siguientes resultados:

Tabla 8. Resultados análisis bromatológico equipo NIRS.

Determinación	Muestra			GH
	1	2	3	
Proteína (%)	40,07	40,36	40,93	4,27
Humedad (%)	8,81	8,69	8,87	4,32
Grasa (%)	5,82	5,94	5,69	3,58

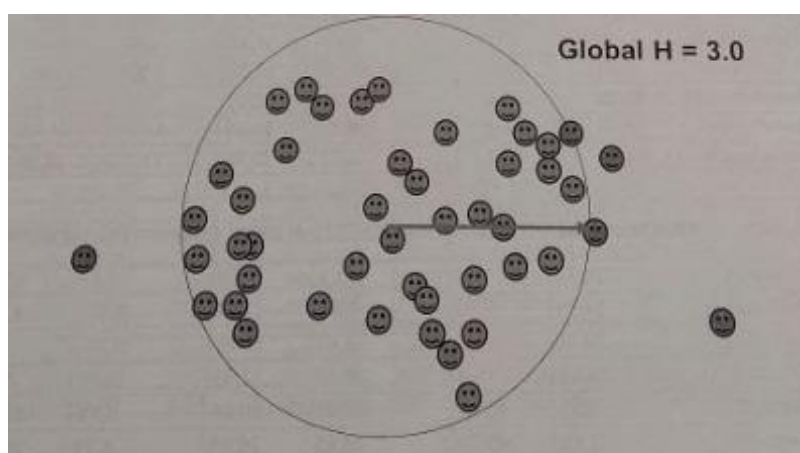
Fibra cruda (%)	14,74	14,79	15,23	5,3
Almidón (%)	-2,1	-1,96	-3,27	2,63
Cenizas (%)	8,6	8,31	9,08	3,59

Fuente: Autor.

El Global H (GH) de los modelos de precisión reportados por el equipo indican la cercanía de los resultados obtenidos con respecto a la población de datos que conforman el modelo de predicción desarrollado por FOSS para cada uno de los parámetros por separado. El GH representa que tan cerca está la muestra analizada del centro de la población usada por el fabricante para crear el modelo de predicción usado para estimar cada uno de los parámetros de interés de la muestra. Si $GH < 3$, la muestra se encuentra contemplada en la población del modelo de predicción usado, en caso de que el $GH > 3$ se deben reunir muestras de las mismas características para evaluar la posibilidad de incluirlas en el modelo mediante un ajuste por BIAS.

Según (28) la estandarización de los modelos de predicción de NIRS son necesarios para obtener resultados más confiables y precisos, por ello es necesario incluir modelos de materias primas específicas como es el caso del Chachafruto.

Figura 12. Valores GH > 3



Fuente: Autor.

En general los resultados de GH obtenidos para las muestras analizadas fueron mayores a 3, se deben contemplar los productos por aparte, justificando que el equipo no cuenta con los valores de referencia específicos de la especie, bastaría con llevar a cabo un ajuste de BIAS; una serie mínima de 15 muestras con valores de referencia bastarían para ampliar los datos espectrales.

- **Condiciones de temperatura y humedad secado en marquesina**

Tabla 9. Temperatura y Humedad promedio al interior de la marquesina.

Temperatura (°C)	Humedad (%)
29,6	74,1

Fuente: Autor.

Se puede observar en la Tabla 9. la temperatura promedio de los 3 días que estuvo expuesta la marquesina a los rayos solares, al igual que la humedad relativa. Estos datos fueron tomados con un termohigrómetro digital en el interior de la marquesina. Según lo expuesto por (29), una mayor humedad relativa durante el día y principalmente en la noche, permite que el material sometido al proceso de secado se rehidrate, lo que finalmente se refleja en los contenidos de humedad una vez finalizado el proceso. Lo anterior coincide con (30) quien demuestra que las bajas temperaturas y la humedad relativa elevada, desfavorecen el secado y que, al no contar con un secador con ambiente controlado, se debe elegir secadores cubierto para tratar de reducir el impacto de las variables climatológicas.

Tabla 10. Porcentaje de Humedad y Materia Seca

Muestra	Peso inicial (g)	Peso final (g)	HR (%)	MS (%)
----------------	-----------------------------	---------------------------	-------------------	-------------------

1	63	22,05	65,00	35,00
2	40,3	14,66	63,62	36,38
3	23,4	8,23	64,83	35,17

Fuente: Autor.

En la tabla 10. se puede observar el porcentaje de MS contenido en las muestras después de secado. El bajo porcentaje de MS coincide con lo expuesto por (29), en el sentido de que a pesar de las significativas mejoras de carácter técnico implementadas en los procesos de secado natural, no han sido suficientes, sobre todo en las regiones del trópico, las cuales se caracterizan por importantes fluctuaciones de temperatura ambiente y humedad relativa en el transcurso del día, lo que al final no puede asegurar una constante de secado para alcanzar el máximo porcentaje de MS.

Conclusiones y recomendaciones

Dado los altos costos de alimentación es necesario utilizar los alimentos no convencionales para suplir las necesidades de los hatos ganaderos, es el caso del Chachafruto que tiene multiformes propósitos y entre ellos está el uso de su forraje para la alimentación bovina. La industrialización del forraje de *Erythrina edulis* es una opción llamativa debido a la composición nutricional de la hoja y su fácil mantenimiento en bancos forrajeros.

Los métodos de secado son bien conocidos y los que tradicionalmente se han implementado en el sector productivo del país por su eficiencia en el secado de productos como el café, sin embargo, aunque son métodos económicos y de fácil acceso se debe tener en cuenta cual es la eficiencia que presenta, no quiere decir que no sean útiles pues en la cantidad de opciones que hay se puede optar por secadores con cubierta que son lo que en medio de las limitaciones cuentan con una barrera que va impedir que los cambios climatológicos impacten directamente sobre el producto en proceso de secado.

En cuanto al secado en horno, tiene las ventajas de controlar todas las variables que en campo son imposibles hacerlas, además de ser más eficiente por la cantidad de material vegetal que se puede procesar, el tiempo de secado y lo más importante el porcentaje de Materia Seca que es mayor a comparación de lo encontrado en secado solar.

Por otro lado, la utilización de tecnologías como los equipos NIRS son un gran avance, además de que es rápido y confiable siempre y cuando los modelos de predicción sean estandarizados, es decir, es una tecnología útil, pero deben estandarizarse los modelos de las materias primas porque de lo contrario los resultados obtenidos no van a ser significativos.

Entre las recomendaciones en este tipo de estudios estarían la medición constante de temperatura y humedad para los casos de secadores solares y artificiales, pues son estas variables las que van a determinar la eficiencia de cada método de deshidratación.

Bibliografía

1. D'Amore C. Evaluación nutricional de harina proteica de *Erythrina edulis* [Internet]. Universidad Central de Venezuela. Universidad Central de Venezuela; 2016. Available from: [http://saber.ucv.ve/bitstream/123456789/15104/1/MANUSCRITO_FINAL_6_DE_JUNIO .pdf](http://saber.ucv.ve/bitstream/123456789/15104/1/MANUSCRITO_FINAL_6_DE_JUNIO.pdf)
2. Pérez A, Hernández E, Sandoval C, Otárola F. Presencia del chachafruto (*Erythrina edulis* Triana ex Micheli) en el estado de Merida, Venezuela. CLiC. 2015;6:140–53.
3. Catálogo virtual de flora del Valle de Aburrá. Chachafruto, poroto, balú (*Erythrina edulis*) [Internet]. [cited 2018 Oct 2]. Available from: <https://catalogofloravalleaburra.eia.edu.co/species/203>
4. Barrera Marín N, Mejía Leudo M. Chachafruto: pasado, presente y futuro [Internet]. Tercera ed. Pasado, presente y futuro. Palmira, Valle: Universidad Nacional de Colombia; 1994. 18 p. Available from: [http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4120/1/Chachafruto%2C pasado%2C presente y futuro.pdf](http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4120/1/Chachafruto%2C_pasado%2C_presente_y_futuro.pdf)
5. Escamilo Cárdenas S camilo. El Pajuro (*Erythrina edulis*) alimento andino en extinción. Investig Soc [Internet]. 2012;16(28):16–20. Available from: <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/sociales/article/viewFile/7389/6452>
6. Laitón Castilllo AN, Solano Delgadillo AR, Peña Villalobos WA. Determinación de especies vegetales alternativas en el municipio de Pauna (Boyacá) para el análisis de los potenciales forrajeros y nutricionales dirigidos a ganadería lechera especializada. Universidad Nacional Abierta y a Distancia; 2014.
7. Caysahuana C. Propagación de *Erythrina edulis* Triana ex Micheli por estacas en tres zonas de vida, Pampa Hermosa- Satipo [Internet]. Universidad Nacional del Centro del Perú; 2015. Available from: [http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3989/Caysahuana Huacachi.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3989/Caysahuana_Huacachi.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

8. Lojan Idrobo L. El verdor de los andes: Proyecto Desarrollo Forestal Participativo en Los Andes [Internet]. 1. ed. Quito, Ecuador: Desarrollo Forestal Participativo; 1992. 217 p. Available from:
<https://searchworks.stanford.edu/view/2806467>
9. Acero Duarte LE. Guía para el cultivo y aprovechamiento del Chachafruto o Balú: *erythrina edulis triana ex micheli* [Internet]. Convenio Andres Bello. 2000 [cited 2018 Oct 27]. p. 56. Available from:
<http://babel.banrepcultural.org/cdm/ref/collection/p17054coll10/id/1300>
10. D'Amore C. Evaluación nutricional de harina proteica de *Erythrina edulis*. Fac ciencias - Venez. 2016;1–103.
11. FAO. Especies forrajeras [Internet]. [cited 2018 Oct 30]. Available from:
<http://www.fao.org/docrep/pdf/010/a1564s/a1564s04.pdf>
12. Naranjo JF, Cuartas CA. Caracterización nutricional y de la cinética de degradación ruminal de algunos de los recursos forrajeros con potencial para la suplementación de rumiantes en el trópico alto de Colombia. Rev CES Med Vet y Zootec [Internet]. 2011 [cited 2018 Nov 2];6(1):9–19. Available from:
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1900-96072011000100002
13. Hernández J, Castillo M, Garay V, Mora A, Caamaño J, Urbina A. Efecto de la harina de chachafruto (*Erythrina edulis triana ex micheli*) como suplemento en la alimentación de truchas arco iris (*Oncorhynchus mykiss*). Agric Andin [Internet]. 2010 [cited 2018 Oct 31];18(1):12–28. Available from:
https://www.researchgate.net/publication/299390918_Efecto_de_la_harina_de_chachafruto_Erythrina_edulis_Triana_ex_Micheli_como_suplemento_en_la_alimentacion_de_truchas_arco_iris_Oncorhynchus_mykiss
14. Gómez Landeros G. *Gliricidia sepium*, Árbol de usos múltiples en el trópico [Internet]. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”; 2004. Available from:
http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1301/T14508_PIMIENTA_RON%2C_AGUSTIN_TESIS_58383.pdf?sequence=1

15. Savón L, Gutiérrez O, Ojeda F, Scull I. Harinas de follajes tropicales: una alternativa potencial para la alimentación de especies monogástricas. *Pastos y Forrajes* [Internet]. 2005;28(1):69–79. Available from: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=269121628006>
16. García Navarrete FJ. Evaluación de los efectos del proceso de secado sobre la calidad de la Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) y la Hierbabuena (*Mentha spicata*) [Internet]. Universidad Nacional de Colombia; 2014. Available from: <http://www.bdigital.unal.edu.co/42012/1/822137.2014.pdf>
17. Omolola AO, Kapila PF, Silungwe HM. Mathematical modeling of drying characteristics of Jew's mallow (*Corchorus olitorius*) leaves. *Inf Process Agric* [Internet]. 2018 Aug 16 [cited 2019 Jan 16]; Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214317318301057>
18. Fundación Celestina Pérez de Almada. Guía de uso, secaderos solares para frutas, legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carnes. *Cosude*. 2005;1:41.
19. Ingenierías sin fronteras. Deshidratadores solares. Tecnología para el desarrollo humano [Internet]. 2015;12. Available from: <https://esf-cat.org/wp-content/uploads/2017/06/Manual-Tecnologia-para-la-Transformacion-Agropecuaria-Deshidratador-Solar-ESF-1.pdf>
20. Solano Valles KP. Evaluación de la operación de un secador solar para productos alimenticios en zonas rurales. Universidad de Sonora; 2006.
21. Palacio J-A, Cadavid BE, Agudelo DE. Sistema tipo marquesina de doble cámara, para el deshidratado de plantas aromáticas y medicinales empleando energía solar. *Rev Politécnica* [Internet]. 2016;12(22):2256–5353. Available from: <http://revistas.elpoli.edu.co/index.php/pol/article/viewFile/876/748>
22. Otazu Larrasoña I. Influencia de la temperatura y tiempo de secado en la calidad de las hojas de *Cymbopogon Citratus*. Universidad Pública de Navarra; 2010.
23. Gascón A, Muravnick N, Andreuccetti C. Desección y deshidratación de

- vegetales. Manual y Esquemas de las Elaboraciones Industriales. 2013.
24. Equipos y Laboratorio de Colombia. Estufa de secado u horno de secado [Internet]. [cited 2019 Jan 16]. Available from:
https://www.equiposylaboratorio.com/sitio/contenidos_mo.php?it=10092
 25. Google. Google Maps [Internet]. [cited 2018 Dec 26]. Available from:
<https://www.google.com/maps/place/4°56'16.0%22N+75°43'59.5%22W/@4.9383257,-75.7340992,17z/data=!4m7!3m6!1s0x0:0x0!4b1!7e2!8m2!3d4.9377867!4d-75.7331897>
 26. Daihan Scientific. Oven Smart Forced Convection type [Internet]. [cited 2019 Jan 17]. Available from: http://www.daihan-sci.com/en/product/product_cate.do?CIDX=376
 27. PAF - Purificación y Análisis de Fluídos. FOSS NIRS DA1650 [Internet]. [cited 2019 Jan 17]. Available from: <http://www.paf.com.co/producto/227>
 28. Ocampo JF. Estandarización de las curvas de calibración por la metodología NIR y la química húmeda en las materias primas y carnes frías para la optimización de las respuestas de análisis [Internet]. Corporación Universitaria Lasallista; 2015. Available from:
http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/1571/1/Estandarizacion_curvas_calibracion_NIR.pdf
 29. Hernandez P. E. Evaluación de dos metodos de secado y su efecto sobre la composicion nutricional del heno de follaje de yuca. 2010;69.
 30. Bela Linares LF. Evaluación de tres tipos de secado en la calidad del grano de Cacao (Theobroma cacao L.) en la estación experimental de Sapecho – La Paz [Internet]. Universidad Mayor de San Andrés; 2013. Available from:
<https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/4147/T-1840.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Anexos

Tabla 1. Características generales *Erythrina edulis*.

Familia	Fabaceae
Nombre científico	<i>Erythrina edulis</i>
Autor	Micheli
Etimología	<i>Erythrina</i> , del griego <i>eritros</i> , rojo; <i>edulis</i> , epíteto latino que significa comestible
Nombre común	Chachafruto, Potoro, Balú
Origen	Nativa
Continente	Sur América
Distribución geográfica	Colombia a Argentina
Hábito de crecimiento	Arbórea
Altura máxima (m)	10
Diámetro (cm)	60
Amplitud de copa	Media (7-14 m)
Densidad de follaje	Alta
Atributos foliares	Miden 30 cm de largo por 20 cm de ancho, folíolos de forma triangular que terminan en punta, lisos, coriáceos
Persistencia de la hoja	Caducifolia
Atributos florales	Miden 3 cm de largo, con 4 pétalos y 9 estambres
Estación de floración	Época seca
Sistema de polinización	Aves
Sistema de dispersión	Zoocoría
Atracción fauna	Alta
Densidad de madera (g/cm ³)	0.22
Tasa de crecimiento	Rápida
Longevidad	Media (36-60 años)

Rango altitudinal	0-1000 msnm, 1001-1500 msnm, 1501-2000 msnm
Requerimiento de luminosidad	Alta
Tipo de suelo	Franco arcillosos
Uso	Sus semillas son de consumo humano y se utilizan para alimentar cerdos y gallinas. Las hojas y las ramas jóvenes se usan como forraje de gran contenido proteínico. Apta para la recuperación de suelos
Función	Cerca viva, alimento para la fauna, fruto comestible, sombrío, recuperación de suelos y/o áreas degradadas
Estado de conservación	Preocupación menor (LC)

Fuente: (3).

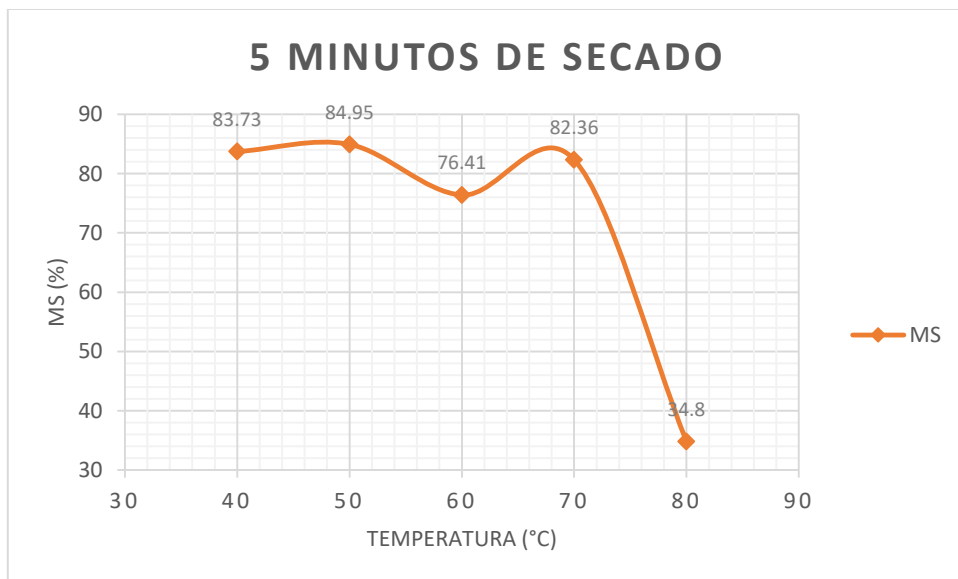
Tabla 7. Resultados de secado con el método STAP.

T° STAP (°C)	Tiempo STAP (Minutos)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	HR (%)	MS (%)
40	5	2,041	1,709	16,27	83,73
40	10	2,055	1,674	18,54	81,46
40	15	2,002	1,648	17,68	82,32
40	20	2,01	1,655	17,66	82,34
40	25	2,018	1,592	21,11	78,89
50	5	2,033	1,727	15,05	84,95
50	10	2,062	1,664	19,30	80,70
50	15	2,011	1,624	19,24	80,76
50	20	2,003	1,583	20,97	79,03

50	25	2,055	1,527	25,69	74,31
60	5	2,001	1,529	23,59	76,41
60	10	2,014	1,391	30,93	69,07
60	15	2,012	1,231	38,82	61,18
60	20	2,035	1,181	41,97	58,03
60	25	2,021	1,119	44,63	55,37
70	5	2,03	1,672	17,64	82,36
70	10	2,027	1,484	26,79	73,21
70	15	2,039	1,387	31,98	68,02
70	20	2,034	1,239	39,09	60,91
70	25	2,001	1,015	49,28	50,72
80	5	2	0,696	65,20	34,80
80	10	1,996	0,938	53,01	46,99
80	15	1,994	1,173	41,17	58,83
80	20	1,975	1,379	30,18	69,82
80	25	2,005	1,356	32,37	67,63

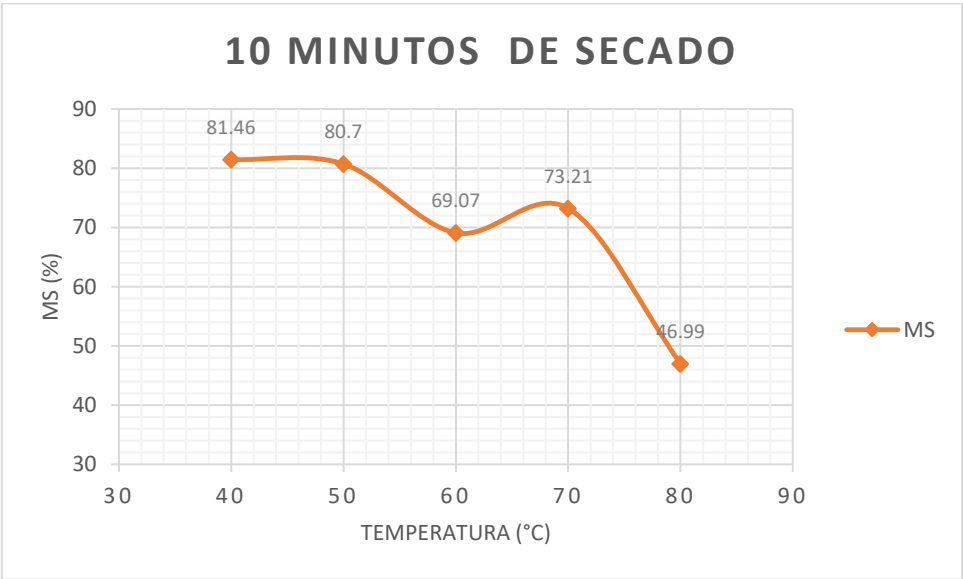
Fuente: Autor.

Gráfica 1. Secado en horno por 5 minutos.



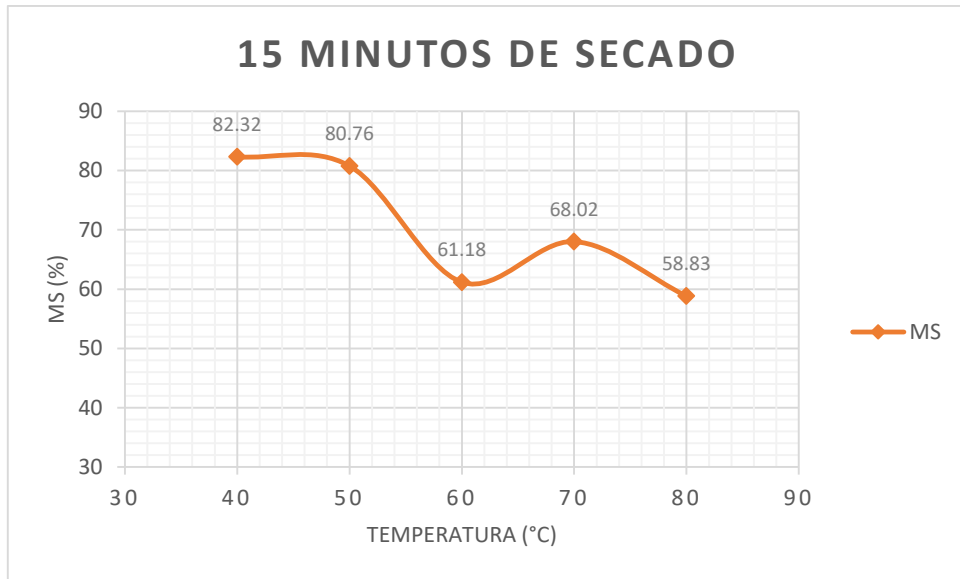
Fuente: Autor.

Gráfica 2. Secado en horno por 10 minutos.



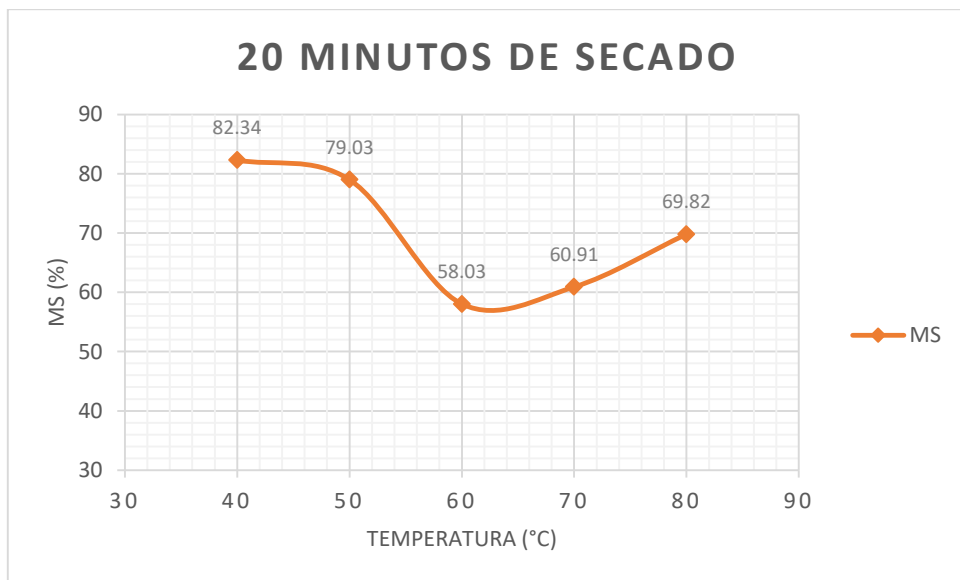
Fuente: Autor.

Gráfica 3. Secado en horno por 15 minutos.



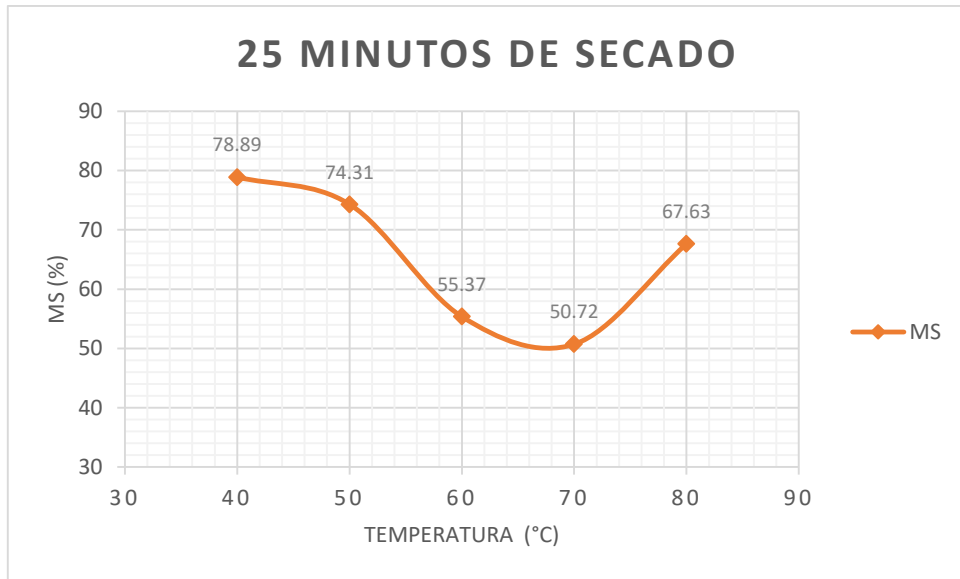
Fuente: Autor.

Gráfica 4. Secado en horno por 20 minutos.



Fuente: Autor.

Gráfica 5. Secado en horno por 25 minutos.



Fuente: Autor.